



## INFLUENCIA DE LOS ADITIVOS REDUCTORES DE RETRACCIÓN SOBRE LA RETRACCIÓN PLÁSTICA

**J. Mora, A. Aguado, R. Gettu**

E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Barcelona. UPC (España)

### RESUMEN

Los aditivos reductores de retracción (SRAs) se plantean, hoy en día, como una alternativa viable para reducir la fisuración por retracción plástica. El objetivo del presente trabajo es conocer mejor y predecir el comportamiento a primeras edades de la retracción plástica en elementos estructurales coaccionados, a los que se les ha añadido diversos aditivos reductores de retracción (tres tipos diferentes). Esta influencia se analiza a través las siguientes propiedades: presión capilar, evaporación, evolución de temperaturas, evolución de fisuración, y deformaciones verticales de asentamiento. Los ensayos para estudiar la fisuración y las deformaciones se han realizado sobre diferentes configuraciones (prisma restringido con estrangulamiento y panel restringido), en un túnel de viento, con temperaturas y velocidades de viento controladas. Las conclusiones obtenidas señalan la viabilidad del empleo de este tipo de aditivos y la bondad de los métodos experimentales utilizados.

**Palabras claves:** Aditivos reductores de retracción, retracción plástica, fisuración a tempranas edades

### ABSTRACT

Shrinkage reducing admixtures (SRAs) are viable alternatives for reducing plastic shrinkage cracking in concrete. The objective of the present paper is to study early age plastic shrinkage in restrained concrete elements, where three different SRAs have been used. The influence of the admixture is analyzed through the following measurements: capillary pressure, evaporation, temperature evolution, crack evolution and settlement. The tests for studying the cracking and deformation were made on two different configurations (i.e., restrained prisms with reduced cross-section and restrained panel), in a wind tunnel, with controlled wind temperature and velocity. The conclusions obtained indicate the viability of the use of this type of admixture and the usefulness of the test methods.

**Keywords:** Shrinkage Reducing Admixture, plastic shrinkage, early age cracking.

## INTRODUCCIÓN

La fisuración por retracción plástica en el hormigón suele venir asociada, por un lado, a unas condiciones ambientales extremas (altas temperaturas, bajas humedades y alta velocidad del viento) y, por otro lado, a unas características específicas, tanto de la composición del hormigón, como de la disposición de la armadura.

Esta fisuración actúa sobre la superficie expuesta del hormigón recién colocado provocando un secado rápido antes de que este sea capaz de alcanzar valores de la resistencia que puedan absorber las tensiones internas que se generan. Estas fisuras se forman, en general, sin ningún patrón definido, si bien pueden reflejar retículas de armaduras, cuando éstas estén próximas a la superficie.

Las fisuras resultantes suelen ser de no gran importancia estructural aunque sí de significación en las relaciones contractuales establecidas durante la construcción, pudiendo representar una fuente de discordia entre los agentes que intervienen. Las características geométricas de las mismas con variables, así la longitud se sitúa entre centímetros a metros; la profundidad, entre milímetros a centímetros; mientras que la anchura se sitúa entre de 0,1 a 3 mm [1].

Aparte de su efecto estético y contractual, las fisuras permiten la entrada de difusión de humedad y oxígeno capaces de corroer la armadura y a su vez promover la degradación estructural disminuyendo así, la vida de la misma. Las estructuras con relaciones altas de área superficial/espesor (losas en pavimentos, tableros de puentes, canales de irrigación, túneles, elementos paneles prefabricados, etc.) son el tipo de estructura que resulta más susceptible a sufrir este tipo de fisuración.

En aras a reducir estas fisuras se puede actuar tanto internamente en el material (aumentando la respuesta del material) como en las condiciones externas (disminuyendo las solicitaciones). Estas últimas suelen plantearse mediante agua, líquidos de curado o sistemas alternativos, si bien la dinámica de la ejecución de la obra, hacen que esta vía no sea la idónea, ya que la aplicación del mismo incidiría en la ejecución de otros tajos.

Así pues, la solución usual es incidir sobre el material, para lo que es frecuente utilizar agentes reductores de retracción o bien fibras plásticas de bajo módulo de deformación [2-5]. Hay que recordar, que este problema aumenta con los hormigones de alta resistencia ya que son aún más propensos a este tipo de fisuras que los hormigones resistencia normal (con contenidos moderados de cemento, etc.). La microestructura que resulta de estos primeros es más compacta, consiguiendo mayores presiones de poro o capilares los cuales generan más contracción.

Por otro lado, la cuantificación experimental de la potencial fisuración por retracción plástica no es un tema sencillo, por lo que de los diversos métodos que existen no tienen una aceptación universal. Los ensayos de laboratorio utilizan, con frecuencia, por razones obvias, probetas de pequeño tamaño [6], aunque en otras ocasiones se han realizado de mayor tamaño [7]. En ellas se plantean restricciones según los ejes de las probetas o bien en la superficie inferior de las mismas. Para ello se han utilizado paneles restringidos, cuadrados o rectangulares [4-6], o losas cuadradas o circulares, con coacciones conseguidas mediante un tubo interior que de lugar a una fisuración radial [3, 8].

Los **objetivos** que se persiguen en el presente trabajo son, por un lado, aportar dos métodos experimentales (prisma restringido con entalla y panel restringido sin entalla) para medir la evolución de la retracción por asentamiento plástico con el tiempo y, por otro lado, analizar la influencia de los aditivos reductores de retracción (SRA: shrinkage reducing admixture) en la retracción plástica. Más información del tema puede verse en [9].

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### Detalles Experimentales

**Prisma restringido.** El prisma restringido, tal como se muestra en la figura 1 está conformado por un molde metálico de 600×150×150 mm adaptado para formalizar las coacciones en los extremos mediante unos pequeños pernos de acero de 50 mm de longitud por 5 mm de diámetro, con unas anillas de anclaje, entre tuercas, de 9 mm diámetro. El fondo del molde está cubierto por una lamina de nylon de 8 mm de espesor, con objeto de reducir el rozamiento y adhesión entre el hormigón y el molde metálico. En la sección central de la probeta se estrangula la sección mediante una entalla de 50 mm de base y 106 mm de altura. Con el fin de medir los desplazamientos horizontales, se dispone de un transductor en puente tal como puede verse en la figura 1. El mismo se fija al hormigón fresco mediante dos placas delgadas de aluminio de 100×10 mm. La distancia entre los extremos que constituyen la galga de medida es de 100 mm. Este sistema de medida es ligero y solo ejerce una presión de 0,25 kPa sobre la superficie de hormigón.

**Panel restringido.** Para este ensayo, los paneles cuadrados se han utilizado con frecuencia. En los mismos se ha adoptado el propuesto por Yokoyama et al. [10], representado en la figura 1.b. El mismo está formado por un molde metálico de dimensiones interiores 100 × 800 × 800 mm. Como en el caso anterior, para reducir el rozamiento y adhesión entre el hormigón y el molde, se ha dispuesto de una lamina de polimetilmetacrilato, de 3 mm de espesor. La restricción en los extremos se obtiene mediante 3 filas de pernos de 65 mm de longitud, los dispuestos en las filas superior e inferior y, de 85 mm de longitud, los dispuestos en las filas central. La cabeza de cada perno estaba formada por dos tuercas. En esta configuración era de esperar, como así sucedió, que las fisuras pudiesen tener una configuración en dos dimensiones.

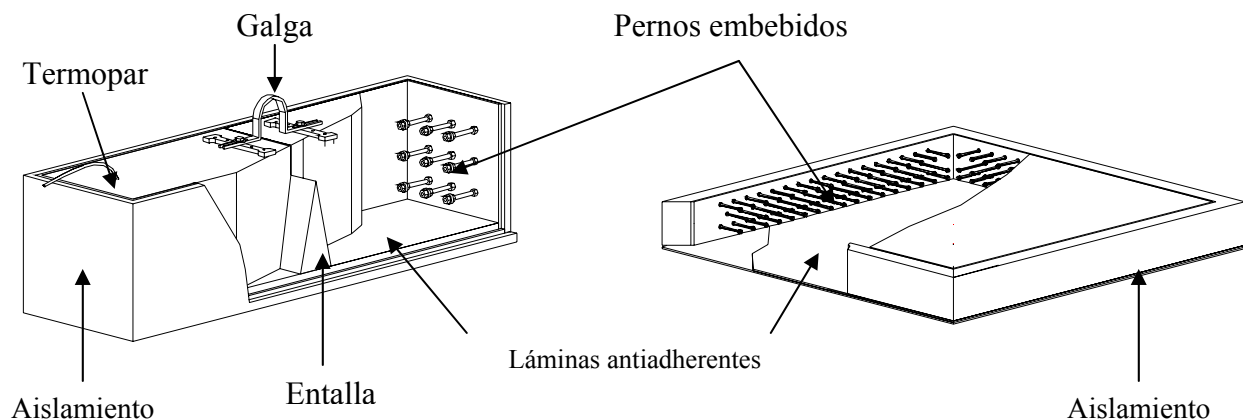


Figura 1.- a).- Prisma restringido con estrangulamiento y b).- Panel restringido

**Otras medidas y ensayos.** La *evaporación del agua* se determinó midiendo la pérdida de peso de los elementos, con una balanza de precisión de 0,01 g. La superficies de exposición de cada uno de los paneles era 400 cm<sup>2</sup>. Asimismo se registró la *temperatura interna del hormigón* para lo que se disponía de un termopar embebido 36 mm en la masa de los elementos (ver figura 1). Estos termopares estaban conectados a un sistema de adquisición de datos, midiendo cada minuto.

**Configuración del ensayo.** La figura 2 muestra la configuración global del ensayo de las probetas anteriormente descritas dentro del túnel de viento. Este está constituido por paredes de madera y cielo transparente de polimetilmetacrilato. Las dimensiones de la sección transversal eran 1000×100 mm. En la parte inicial del túnel se situaba un ventilador que aportaba aire caliente a razón de 3.125 m<sup>3</sup>/hr en una rango de temperatura de 20 a 40 °C, con una velocidad de salida de alrededor de 40 km/hr. Ambas

variables se midieron de continuo durante el ensayo. Asimismo, las medidas de desplazamientos se realizaron cada minuto con un sistema de adquisición de datos Hewlett-Packard 3.432, conectado a un PC. La humedad, al final del túnel, se midió con un higrómetro digital.

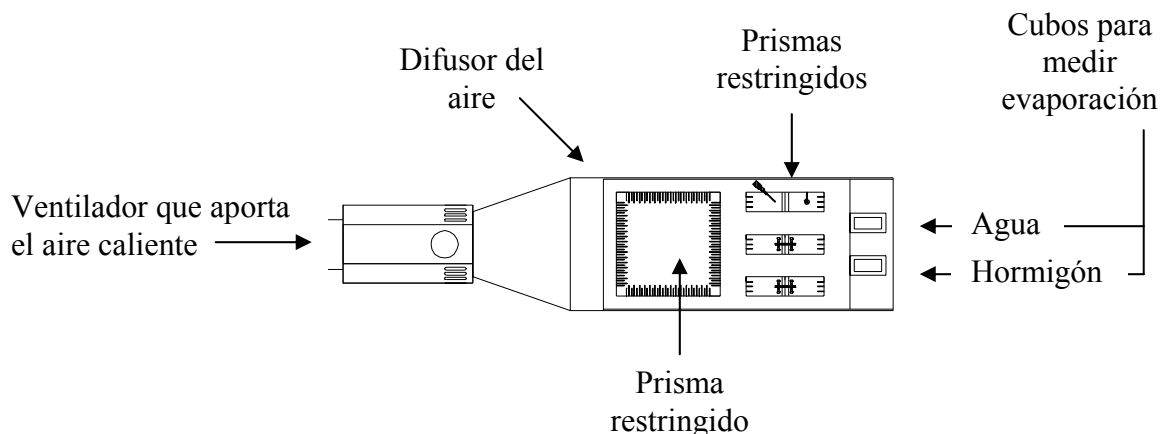


Figura 2.- Configuración en planta del túnel de ensayo

Los valores medios de los parámetros ambientales fueron 44,6° C, 24,7% y 39,5 km/hr para la temperatura, humedad relativa y velocidad del viento, con coeficientes de variación de 0,08, 0,11 y 0,05, respectivamente. Las probetas se mantuvieron en el túnel de ensayo durante al menos 240 minutos. Las paredes metálicas de los moldes de los prismas y paneles estaban aislados con porexpan.

### Materiales Utilizados

Para la serie de ensayos que se presentan en este trabajo, el hormigón de 35 MPa de resistencia característica a 28 días. Los componentes fueron: cemento tipo CEM I 52.5R, agua, dos tipos de arenas, una gravilla (5-12 mm) y una grava (12-20 mm), dos tipos de superplastificantes y tres tipos de aditivos reductores de la retracción. En la tabla 1 se muestran las características de los áridos (todos ellos de machaqueo) y los aditivos.

Tabla 1.- Características de los materiales componentes

Material	Peso específico	Coefficiente de absorción (en %)	Módulo de finura	% finos pasan tamiz 200
Arena (0-2 mm)	2,6	4,4	2,9	0,2
Arena (0-2 mm)	2,7	2,9	3,3	0,5
Gravilla (5-12 mm)	2,7	0,7	--	0,2
Grava (12-20 mm)	2,5	0,6	--	0,0
Aditivos	Identificación	Componente	Densidad gr/cm <sup>3</sup>	Material activo %
Superplastificante	D	Basado en melaminas	1,2	44,4
	G	Basado en policarboxilatos	1,1	21,6
Aditivos reductores de la retracción	E	Basado en Propylen glycol	0,9	100,0
	S	Basado en Propylen glycol	0,9	76,0
	R	Basado en ceras	0,9	39,8

En la tabla 2 se presentan las dosificaciones, por m<sup>3</sup>, empleadas para cada uno de los hormigones, los cuales responden a la nomenclatura dada por la inicial del superplastificante, seguida de una O cuando no tiene aditivo reductor de la retracción y de la letra representativa de este cuando sí lo lleva. En la

dosificación los áridos se consideraron saturados con superficie seca. Todos los hormigones responden a una relación a/c de 0,45.

Tabla 2.- Dosificación de los hormigones

Hormigón	Cemento kg	Agua l	Superplas- tificante l	Arena 0-2 mm kg	Arena 0-5 mm kg	Gravilla 5- 12 mm kg	Grava 12- 20 mm kg	Aditivo Reductor l
G-O	325	182,6	2,1	250	740	200	725	--
D-O		182,2	3,2					--
G-E		178,4	1,9					5,4
G-R		179,6	2,1					5,6
G-S		182,6	1,9					7,5

La amasadora utilizada era de eje vertical de una capacidad de 250 litros. La secuencia de amasado fue: cemento, arenas y áridos gruesos amasados durante 1 minuto; con posterioridad se añadía el agua, manteniendo otro minuto de amasado y, a continuación, el aditivo superplastificante, amasando durante otro minuto, para finalmente, verte el aditivo reductor de la retracción y mantener tres minutos más el amasado. Los moldes se llenaron de dentro hacia fuera. La compactación de los mismos fue mediante vibración, fratasándose con posterioridad. Inmediatamente después, los elementos se dispusieron en el túnel de ensayo iniciándose los mismos. El tiempo transcurrido desde el principio no superaba los 50 minutos.

## RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS MISMOS

### Características mecánicas y de trabajabilidad de los hormigones

Para la caracterización de los hormigones empleados, se realizaron diferentes ensayos, tanto en masa fresca de como sobre hormigón endurecido. Estos ensayos fueron: cono de Abrams, densidad, tiempo de fraguado y resistencia a compresión. Los resultados obtenidos se sitúan en el rango esperado tanto en lo que hace referencia al cono (valores entre 180 y 225 mm) como de la densidad (entre 2380 y 2400 kg/m<sup>3</sup>). Los tiempos de fraguado mostraban un retardo de los hormigones G-O G-E, G-S (del entorno del doble de tiempo) con respecto a los obtenidos para los hormigones D-O y G-R. La resistencia a compresión se situó en el entorno de los 43 MPa, con coeficientes de variación, en cada serie, menores al 5 % [9].

### Velocidad de evaporación

En la figura 3 se presentan los resultados de la evaporación acumulada por m<sup>2</sup>. En la misma puede verse que la velocidad de evaporación decrece con el tiempo, buscando una asíntota al final del ensayo. Durante la primera hora la velocidad de evaporación del agua es 1,4 kg/m<sup>2</sup>, valor este superior al especificado por la norma ACI 305R-99 [11], de 1 kg/m<sup>2</sup>/hr para evitar la aparición de fisuras por retracción plástica.

En la citada figura puede observarse, asimismo, que el hormigón patrón con superplastificante en base melamina (CD-O) conduce a un elevado porcentaje de evaporación durante el ensayo, mientras que en el otro hormigón de referencia realizado con un aditivo en base a policarboxilatos (CG-O), la evaporación es menor. Por su parte, los hormigones realizados con los 3 aditivos reductores de la retracción, conducen a resultados similares, sí bien algo menores en el caso del realizado en base a ceras. (CG-R). Ello puede responder a que estos aditivos, decrecen la tensión superficial del agua de amasado [12], lo cual podría conducir a menores fuerzas capilares y, consecuentemente, a una velocidad más lenta de transporte de agua hacia la superficie, por lo que los resultados al final del ensayo, son algo menores.

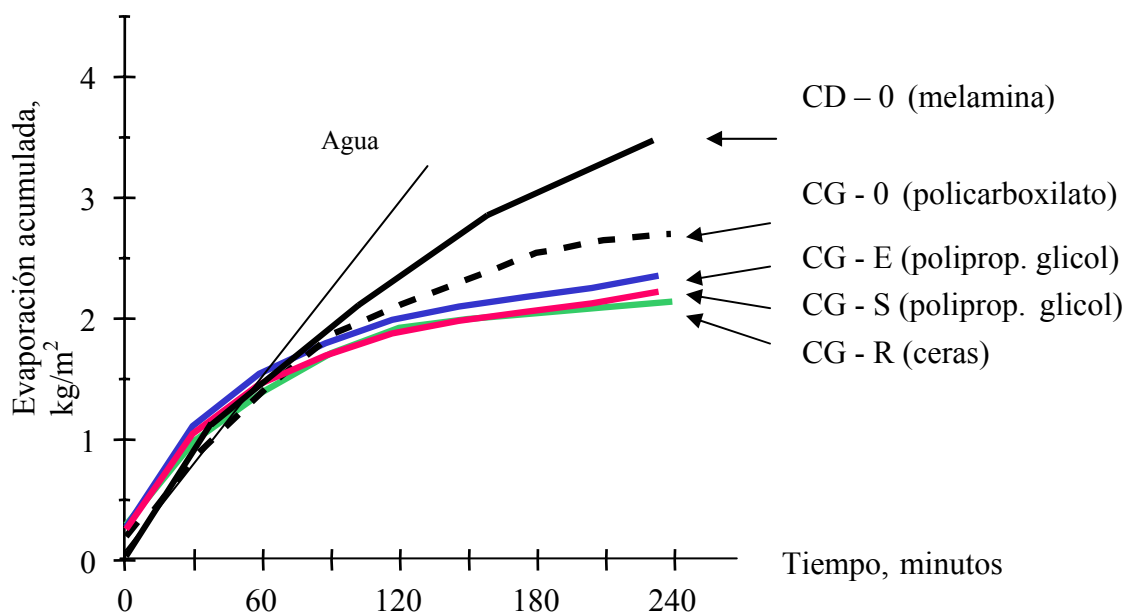


Figura 3.- Evaporación acumulada en función del tiempo

### Resultados de los prismas restringidos

Los resultados de los desplazamientos horizontales en estos prismas se muestran en la figura 4. cada una de ellas es la media de los 3 prismas utilizados en cada ensayo. En ella puede apreciarse que dentro de los hormigones patrones el realizado con superplastificante en base melamina (CD-O), conduce al final del ensayo a unas deformaciones significativamente mayores al otro hormigón patrón (CG-O). Los resultados de este último se sitúan dentro del rango de los hormigones en los que se emplearon aditivos reductores de retracción (CG-S) (CG-E) (CG-R).

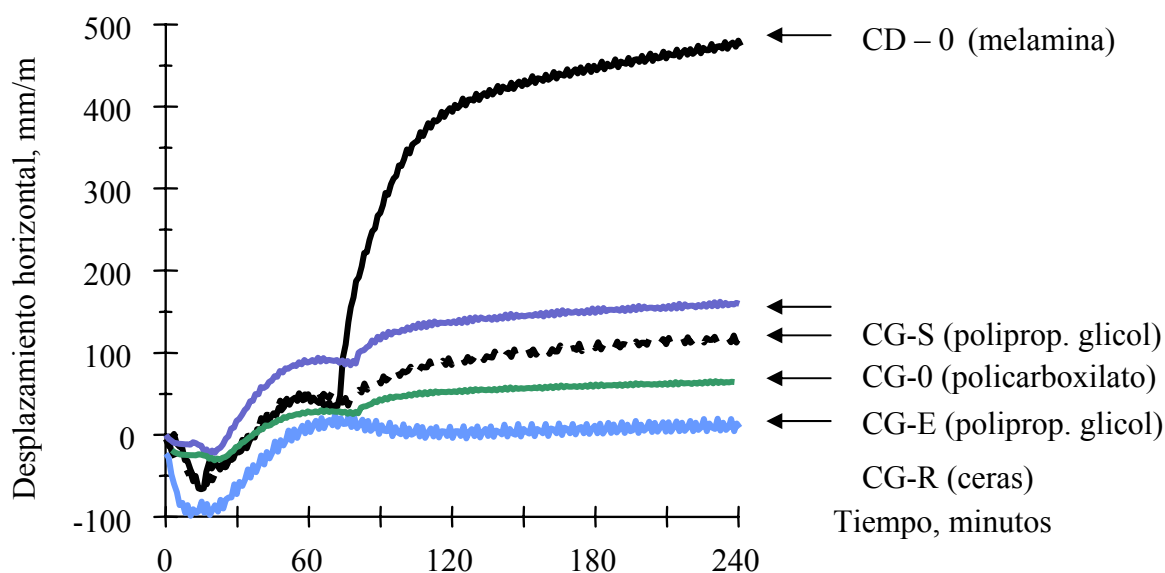


Figura 4.- Desplazamientos horizontales en función del tiempo en los prismas restringidos

Por otro lado, el comportamiento de los hormigones con aditivos reductores de la retracción muestran una ligera expansión (más acentuada en el caso del CG-R) en lo primeros minutos del ensayo (inferior a

30 minutos). Las primeras fisuras aparecen entre los 70 y 90 minutos desde el inicio del ensayo, lo que suele tener una buena correlación con el cambio de pendiente de la velocidad de evaporación presentada en la figura 3. Asimismo, la variación máxima de deformaciones hasta ese momento se sitúa en los 100 mm/m. Las variaciones de desplazamientos desde la fisuración hasta el final del ensayo son menores excepto en el caso del hormigón patrón (CD-O). Los anchos de fisuras al final del ensayo se situaban por debajo de 0,08 mm en todas las familias de hormigones ensayadas, excepto el CD-O cuyo ancho de fisura era de 0,44 mm.

### Resultados de los paneles restringidos

De los hormigones presentados en este trabajo sólo el panel correspondiente al CD-O presentó una fisuración enramada como se muestra en la figura 5, con anchos medios de fisuras de 0,66 mm. Los resultados reflejan, por un lado, la bondad de los aditivos reductores de la retracción en la función de evitar la fisuración por retracción plástica, confirmando los resultados mostrados anteriormente y, por otro lado, la bondad del ensayo propuesto de prisma restringido para simular las condiciones reales.

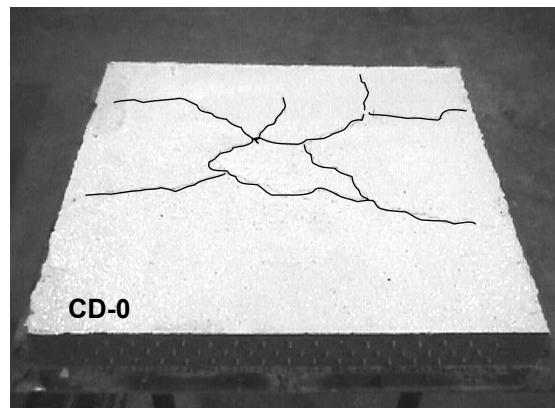


Figura 5.- Fisuración en panel restringido CD-O

### Otros resultados

En la campaña más amplia de ensayos realizada en la tesis doctoral de J. Mora [9], se han obtenido otros resultados correspondientes a ensayos reflejados en apartado anteriores. Así los incrementos de temperatura del hormigón, medidos en el interior de los prismas, reflejan un comportamiento similar en todos los hormigones, produciéndose un incremento máximo de la temperatura de 20 °C en el CG-S y un valor mínimo de 14 °C en el CD-O. Algo similar se puede decir de los resultados correspondientes a la presión capilar medida en los prismas, la cual decrece con el tiempo, hasta la aparición de la fisura, para recuperarse y mantenerse constante durante el resto del ensayo [9]. En este ensayo, nuevamente el CD-O muestra un comportamiento diferenciado a los demás.

Otra variable medida fueron los desplazamientos verticales, los cuales mantenían una pendiente decreciente constante, para cambiar la misma de forma significativa y pasar a ser ligeramente creciente hasta el final del ensayo. El cambio de pendiente se sitúa en el entorno de tiempo próximo a la aparición de la primera fisura en el ensayo de prisma restringido. Ello puede reflejar una primera etapa de evaporación de agua libre superficial, para a medida que se desarrolla el ensayo y cambiar la rigidez del hormigón y, por un lado, producirse la fisuración y por otro, estabilizarse los desplazamientos verticales, manteniéndose constantes o ligeramente crecientes. Ese cambio de tendencia es consecuencia directa del cambio de estado, pasando del comportamiento de un líquido a un sólido.



## CONCLUSIONES

El ensayo de prisma restringido con entalla es un buen procedimiento para la caracterización de los efectos de la retracción plástica del hormigón. El comportamiento tipo de los hormigones reflejan 4 fases en la respuesta: una primera fase durmiente seguida de un incremento de los desplazamientos hasta la iniciación de la fisura, una tercera fase donde la fisura crece, para llegar a una cuarta fase de estabilización. En este ensayo, para la caracterización del hormigón se pueden utilizar como parámetros principales el tiempo de inicio de la fisura y el nacho de la fisura al final del ensayo.

El ensayo de los paneles restringidos sirve de forma más cualitativa para la caracterización de los hormigones, si bien es interesante cara a reflejar las situaciones que se puedan producir en la realidad sobre elemento principalmente de gran superficie.

De los hormigones presentados en este trabajo, cabe señalar el buen comportamiento de los aditivos reductores de la retracción empleados en su fabricación para reducir o evitar la retracción por asentamiento plástico. El hormigón patrón sin este tipo de aditivos (CD-O) daba lugar a unas deformaciones significativas, reflejadas en importante fisuras en los distintos ensayos, tanto en ancho como en número de las mismas.

## AGRADECIMIENTOS

El profesor A. Aguado agradece la ayuda recibida, para presentar la presente comunicación, de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona y del Departamento de Ingeniería de la Construcción de la Universidad Politécnica de Cataluña.

## REFERENCIAS

- [1] Ravina, D. and Shalon, R., 'Plastic shrinkage cracking', ACI J. (1968) 282-292.
- [2] Padron, I. and Zollo, R.F., 'Effect of synthetic fibers on volume stability and cracking of portland cement and mortar', ACI Mat. J. 87 (4) (1990) 327-332.
- [3] Nanni, A., Ludwig, D.A. and McGills, M.T., 'Plastic shrinkage cracking of restrained fiber-reinforced concrete', Transp. Res. Rec. (1382) (1991) 69-72.
- [4] Balaguru, P., 'Contribution of fibers to crack reduction of cement composites during the initial and final setting period', ACI Mat. J. 91 (3) (1994) 280-288.
- [5] Berke, N.S. and Pallaire, M.P., 'The effect of low addition rated of polypropylene fibers on plastic shrinkage cracking and mechanical properties of concrete', ACI SP-142, ACI, Ed. J.I. Daniel and S.P. Shah (1994) 19-42.
- [6] Soroushian, P. and Ravanbakhsh, S., 'Control of plastic shrinkage cracking with specialty cellulose fibers', ACI Mat. J. 95 (4) (1998) 429-435.
- [7] San Juan, M.A., and Moragues, A., 'Model for predicting plastic shrinkage of polypropylene reinforced mortars', J. Mat. Sci. (29) (1994) 2821-2825.
- [8] Vanderwalle, L. "Influence of polypropylene fibre reinforcement on the restrained shrinkage and cracking of concrete", Fourth CANMET/ACI Intl. Conf. on Durability of Concrete, Sydney, Australia (1997).
- [9] Mora, J. "Study of restrained shrinkage cracking in conventional and high performance concrete" Tesis doctoral E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. U.P.C.
- [10] Yokoyama, K., Hiraishi, S., Kasai, Y. and Kishitani, K., 'Experimental study on shrinkage and cracking of flowing concrete at early ages', JCA Proc. of Cem. & Concr. 50 (1996) 588-593.
- [11] ACI 305R-96, "Hot weather concreting", Man. of Concr. Pract. Part 2, ACI, (1996).
- [12] Nmai, Ch, K., Tomita, R., Hondo, F. and Buffenbarger, J., 'Shrinkage-reducing admixtures', Concr. Intl. 20 (4) (1998).